

博士學位論文

内容の要旨
および
審査結果の要旨

甲 第 13 号

平成 30 年 度

東京都市大学

序

本編は学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日文部省令第 9 号）第 8 条による公表を目的として、平成 30 年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

| | |
|-----------|---|
| 氏 名 (国籍) | KC ラジン (ネパール連邦民主共和国) |
| 学 位 の 種 類 | 博 士 (環境情報学) |
| 学 位 記 番 号 | 甲 第 13 号 |
| 学位授与の日付 | 平成 31 年 3 月 19 日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第 4 条第 1 項該当 |
| 学位論文主題 | Study on adaptive thermal comfort and occupant behavior in HEMS managed residential buildings (HEMS 集合住宅における適応的温熱快適性と環境調整行動に関する研究) |
| 論文審査委員 | (主査) 教授 リジャル H.B. 教授 宿谷 昌則 教授 吉崎 真司 教授 飯島 健太郎 教授 坊垣 和明 (本学 名誉教授) |

論文内容の要旨

人間は常に行動を経験している。行動は環境適応の一つである。一般的に、人々は 2 つの状態に適応する。一つは周囲の環境に適応し、もう一つは自分自身に合うような環境を変える。適応的行動は一般的に良い室内温熱環境を作り出すために行う。しかし、適応の度合いは適応機会に左右される。

現在、世界のエネルギー利用のシナリオをみると、人間の適応には主に 3 種類に分類できる。1 つは化石燃料を使用せずに熱的快適性を調整するため自然環境を利用して積極的に適応するグループである。もう一つは、機械的な冷暖房設備を利用して消極的に適応するグループであり、居住者は完全に制御された環境で暮らすことになる。3 番目はミックスモード的に適応的環境調整するグループである。このグループでは、居住者は機械システムを利用するが、機械的冷暖房設備に完全に依存する訳ではない。即ち、彼らは機械のみを利用して温熱環境を調整しているだけでなく、窓、扇風機、着衣量などの環境調整行動を行って室内温熱環境を調整している。

HEMS はエネルギー利用を視覚化し、効率的にエネルギー管理を行うため役立つ。私達の最大に関心は、HEMS システムを使用している際、居住者がどのような環境調整行動するかを知ることである。どの程度、居住者は機械的冷暖房機器に依存するのか。熱的快適性に関する研究は数多くあるが、HEMS を利用したスマートな生活に関する研究は殆どないことから、本研究は非常に重要である。研究成果は、将来、HEMS 実装の開発に役立つのみではなく、適応的温熱快適性と環境調整行動の基礎資料としても役立つと思われる。

室内温熱環境と居住者の熱的快適性や環境調整行動を明らかにするため、HEMS が利用しているマンションにおける実測調査と WEB 調査を 2015 年 11 月から 2016 年 10 月に実施した。調査対象は東京にある 18 階建てのマンションであり、356 世帯が住んでいる。39 世帯から集められたサンプル数は 17036 個である。室温、室内相対湿度と照度を 2~10 分間隔で測定した。測定した全てのデータを精度の良い機器を用いて校正した。環境調整行動の分析にはロジスティック回帰を用いた。外気温度と外気相対湿度は気象庁のデータを利用した。

データ分析を行った結果、居住者は冷暖房の利用が少なく、室温が安定していた。冬季の平均室温は非冷暖房使用時で 19.9℃だった。これはマンションの断熱性が一般住宅より優れているため、室内温熱環境が良いと思われる。冷房時では、平均室温は 27.1℃であり、日本の夏の推奨室温とほぼ同じである。室温が最も高いと低い世帯の差は冬に 12℃、夏に 6℃であった。相対湿度の快適範囲は 40~60%である。室温と外気温度の相関分析を行った結果、非冷暖房時では強

い相関関係がみられ、外気温度が分かれば室温を予測することができる。

居住者の熱的快適性の評価は高く、多くの居住者は「少し満足」や「満足」、「非常に満足」と感じていた。全てのモードにおいて寒暑感「中立」の割合が最も高い。適温感では「このままで良い」申告の割合が夏と冬とも高い。室内温熱環境を許容している居住者の割合も高い。夏では非冷暖房時の許容度は冷房時より高いが、冬では非冷暖房時の許容度は暖房時より低い。居住者の快適温度は 22.8℃である。居住者は夏と冬でも様々な環境調整行動を行って熱的に快適に感じていた。

居住者の環境調整行動は、季節、住んでいる階、世帯によって異なっていた。居住者の6月と7月の窓開放割合は8月に比べて高い。多くの居住者は、非冷暖房時に熱的快適性を調整していた。着衣量は外気温度と関係があり、既往研究と類似していた。扇風機も熱的快適性の調整利用していた。冷房は外気温度が 20℃以上で利用されている。外気温度が 31.7℃の時、冷房利用が最大になる。暖房は外気温度が 20℃以下で利用されている。外気温度が 10℃を下回ると、暖房利用割合が高くなる。そこで、全ての世帯を室温が高いと低い2つのグループに分類して分析した。夏季では高室温グループの室温は日本の推奨気温よりも高い。高室温グループは窓開放や扇風機利用を低室温グループより多く利用されていた。建物の断熱性が高いため、両グループの冬の室温はあまり低くなかった。暖房利用は世帯によって異なっていた。HEMS 利用している同じ建物でも、世帯によって室内温熱環境の調整方法が異なっていた。非冷暖房モードでは、外気温度が 30℃の時、80%の居住者が窓開放し、外気温度が 0℃の時、居住者の着衣量は約 0.93clo だった。これらのことから、居住者が積極的に様々なパッシブ的な環境調整行動を行っていることが分かる。窓開放、扇風機使用、着衣量の調整などのパッシブ的な環境調整行動は HEMS 住宅と戸建て住宅で類似していた。

全体的な結論として、居住者は HEMS を利用してスマートな生活をしていても様々な環境調整行動を行って室内温熱環境を調整し、居住者が適応して熱的に快適に感じていた。研究成果は、将来、HEMS システムの改良に役立つと思われる。

論文審査の結果の要旨

HEMS はエネルギー使用を視覚化し、効率的にエネルギー管理を行うため役立つ。本論文の最大の関心は、HEMS システムを使用している集合住宅内で、居住者がどのような環境調整行動するか、どの程度冷暖房機器の使用に依存しているか明らかにすることである。これまでに熱的快適性に関する研究は数多くあるが、HEMS が設置された住居に関する研究は殆どないことから、本研究の意義は大きい。研究成果は、適応的温熱快適性と環境調整行動の基礎資料として、また、将来、改良型の HEMS 開発に役立つと考えられる。

本研究では、HEMS 集合住宅における主として温熱環境・適応的温熱快適性・環境調整行動を明らかにすることを目的として、HEMS 他に関する文献調査、住宅の温熱環境の実測と居住者の熱的主観申告調査や環境調整行動調査を行い、その結果を分析している。主な内容は以下の 4 点である。

- 1) 文献調査に基づく HEMS 建物の省エネルギー効果と経費効果。
- 2) 実測調査に基づく HEMS 建物の室温・相対湿度などの温熱環境の解明。
- 3) 熱的主観申告調査に基づく居住者の温冷感や適温感（温度改変要求）・快適感・快適温度の熱的快適性を把握し、2) の実測調査結果との対応関係の解明。
- 4) 居住者の窓開放、着衣量の調整、扇風機・冷暖房利用などの環境調整行動に関する実測調査結果に基づく行動特性の解明。

論文は 7 章で構成されている。

第 1 章では、研究の背景を述べるとともに、HEMS 利用や熱的快適性や環境調整行動に関する既往の研究を整理することにより、本研究の位置づけを明確にしている。

第 2 章では、研究方法と分析方法について述べている。室内温熱環境と居住者の熱的快適性や環境調整行動を明らかにするため、HEMS が利用されている集合住宅における実測調査と WEB 調査を 2015 年 11 月から 2016 年 10 月に実施した。調査対象は東京の品川にある 18 階建てのマンションであり、356 世帯が住んでいる。47 世帯から集められたサンプル数は 17036 個である。室内の空気温・相対湿度・照度を 2～10 分間隔で測定した対象住宅で用いられている温湿度計は精度の高い機器の測定値との対応関係を明らかにして、測定した全てのデータの信頼性を確認している。外気温度と外気相対湿度には気象庁のデータを利用している。環境調整行動の分析にはロジスティック回帰の方法が用いられている。

第 3 章では、HEMS 建物における省エネルギー効果と経費効果に関する既往研究の結果を文献調査に基づいて明らかにしている。HEMS を効率的に利用することによって、18%程の省エネルギー効果と 9%程の経済効果が期待されることを把握した。

第 4 章では、HEMS 建物における温熱環境に関する効果を統計分析した結果が論じられている。分析の結果、居住者は冷暖房の利用が少なく、室温が安定していた。冬季の平均室温は冷暖房非使用時で 19.9℃だった。これはマンションの断熱性が一般住宅より優れているため、室内温熱環境が良いと考えられた。冷房時の平均室温は 27.1℃であり、日本の夏の推奨室温とほぼ同じであった調査対象世帯の内、室温が最も高い世帯と低い世帯の温度差は冬に 12℃、夏に 6℃であった。相対湿度の快適範囲は 40～60%であった。室温と外気温度の相関分析を行った結果、冷暖房非使用時には強い相関関係がみられ、本集合住宅におけ

るおよその室温値を外気温度に基づいて推定できる式を導いている。

第 5 章では、HEMS 建物における居住者の適応的温熱快適性を、実測データと熱的主観申告調査結果の対応関係を分析することによって明らかにしている。居住者の熱的快適性の評価は高く、多くの居住者は「少し満足」や「満足」、「非常に満足」と感じていた。暖冷房の有無の全てのモードにおいて寒暑感が「中立」となる割合が最も高く、適温感では「このままで良い」申告の割合が夏と冬とも高いことを示している。居住者は夏と冬でも様々な環境調整行動を積極的に行って熱的な脚窟性を確保していることが明らかにされている。

第 6 章では、居住者の環境調整行動を温熱環境の実測と行動調査に基づいて明らかにしている。住者の環境調整行動は、季節、住んでいる階、世帯によって異なっていた。居住者の 6 月と 7 月の窓開放割合は 8 月に比べて高い。多くの居住者は、熱的快適性を得るために冷暖房非使用時に様々な調整行動を実行していた。着衣量は外気温と関係があり、既往研究と類似していた。扇風機も熱的快適性の調整に積極的に利用していた。冷房は外気温度が 20℃以上で利用されている。外気温度が 31.7℃の時、冷房利用が最大になった。暖房は外気温度が 20℃以下で利用されており、外気温が 10℃を下回ると、暖房利用割合が高くなる。そこで、全ての世帯を室温が高い・低いの 2 グループに分類して分析したところ、夏季では高室温グループの室温は日本の推奨気温よりも高く、また、窓開放や扇風機利用が低室温グループより多かった。建物の断熱性が高いため、両グループの冬の室温はあまり低くなかった。暖房利用は世帯によって異なっていた。HEMS 利用している同じ建物でも、世帯によって室内温熱環境の調整方法が大いに異なっていた。冷暖房非使用時では、外気温度が 30℃の時、80%の居住者が窓開放し、外気温度が 0℃の時、居住者の着衣量は約 0.93clo だった。これらのことから、居住者が様々な環境調整行動を積極的に行っていることが分かった。窓開放・扇風機使用・着衣量の調整などの環境調整行動は、HEMS 集合住宅と戸建て住宅とで類似していた。

第 7 章では、各章で明らかになったことを要約して結論としている。

以上のことから、居住者は HEMS を利用してスマートな生活をしていても様々な環境調整行動を行って室内温熱環境を調整し、居住者が室内環境に適応して熱的に快適に感じていることが明らかになった。研究成果は、将来、HEMS システムの改良に役立てられると考えられる。

HEMS 住宅における温熱環境・適応的温熱快適性と環境調整行動を明らかにした本論文は、HEMS の省エネルギー効果・経済効果の向上に資するところが大きく、また、建築環境学の発展に寄与するところが大きいと考えられ、博士（環境情報学）の学位論文に値するものと判断する。